

Caracterización Molecular de Aislamientos Bacterianos del Biol Elaborado con Microorganismos Nativos de Montaña y su Efecto bajo Condiciones de Riego Deficitario en el Cultivo de Pimiento (*Capsicum annuum* L.)

Molecular Characterization of Bacterial Isolates of the Biol Elaborated with Native Mountain Microorganisms and its Effect under Deficit Irrigation Conditions on Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.).

Marlon Fernando Monge-Freile^{1†} , Génesis Yamileth Bustamante-Saltos¹ ,
Belén Estefanía Simbaña-Cifuentes¹  y Katiuska Carolina Molina-Yépez¹ 

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo. Avenida Quito, km 1.5. Vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. 120501 Quevedo, Los Ríos, Ecuador; (G.Y.B.S.), (M.F.M.F.), (B.E.S.C.), (K.C.M.Y.).

[†] Autor para correspondencia: mmongef@uteq.edu.ec

RESUMEN

La búsqueda de estrategias agronómicas sostenibles resulta esencial para enfrentar la escasez de recursos hídricos y mitigar los impactos negativos asociados a prácticas agrícolas convencionales. En este contexto, este estudio tuvo como objetivo caracterizar molecularmente aislamientos bacterianos de un biol elaborado con microorganismos nativos de montaña, así como el riego deficitario en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.). Se implementaron seis tratamientos: T1: 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) sin biol; T2: 75% de la ETc sin biol; T3: 50% de la ETc sin biol; T4: 100% de la ETc con biol; T5: 75% de la ETc con biol; y T6: 50% de la ETc con biol. Para la caracterización molecular, se emplearon productos de PCR, los cuales fueron analizados utilizando la herramienta BLAST en la base de datos GenBank®. Los resultados de la secuenciación del gen ARNr 16S revelaron la presencia de bacterias como *Enterobacter asburiae*, *Enterobacter hormaechei* y *Serratia marcescens*, mostrando además la formación de dos subgrupos distintos. En las variables agronómicas, el uso de biol al 100% de la ETc (T4) fue superior en cuanto a altura de planta, peso comercial y rendimiento, mientras que, el 50% de la ETc sin biol (T3) mostró los menores registros en todas las variables evaluadas. Por otro lado, el tratamiento T6 destacó en la eficiencia del uso del agua, alcanzando un rendimiento de 30.73 kg m⁻³. El empleo de biol mejora las características agronómicas del cultivo de pimiento y permite una reducción de hasta el 50% en el consumo de agua sin afectar significativamente el rendimiento.

Palabras clave: bacterias, eficiencia hídrica, evapotranspiración.

SUMMARY

The search for sustainable agronomic strategies is essential to address water scarcity and mitigate the negative impacts associated with conventional agricultural practices. In this context, this study aimed to molecularly characterize bacterial isolates from a biol prepared with native mountain microorganisms and to evaluate their interaction with deficit irrigation in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. Six treatments were implemented: T1, 100% of crop evapotranspiration (ETc) without biol; T2, 75% of ETc without biol; T3, 50% of ETc without biol; T4, 100% of ETc with biol; T5, 75% of ETc with biol; and T6, 50% of ETc with biol. For molecular characterization, PCR products were analyzed using the BLAST tool in the GenBank® database. The results of 16S rRNA gene sequencing revealed the presence of bacteria such as



Cita recomendada:

Monge-Freile, M. F., Bustamante-Saltos, G. Y., Simbaña-Cifuentes, B. E., & Molina-Yépez, K. C. (2025). Caracterización Molecular de Aislamientos Bacterianos del Biol Elaborado con Microorganismos Nativos de Montaña y su Efecto bajo Condiciones de Riego Deficitario en el Cultivo de Pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamericana*, 43, 1-16. e2192. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2192>

Recibido: 10 de diciembre de 2024.

Aceptado: 18 de junio de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Octubre de 2025.

Editor de Sección:

Dra. María Cristina Nally

Editor Técnico:

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Enterobacter asburiae, *Enterobacter hormaechei*, and *Serratia marcescens*, and also indicated the formation of two distinct subgroups. Regarding agronomic variables, the use of biol at 100% ETc (T4) was superior in terms of plant height, commercial fruit weight, and yield, whereas 50% ETc without biol (T3) showed the lowest values in all evaluated variables. Conversely, treatment T6 stood out for its water use efficiency, achieving a yield of 30.73 kg m⁻³. The use of biol improves the agronomic performance of bell pepper cultivation and allows a reduction of up to 50% in water consumption without significantly affecting yield.

Index words: bacteria, water efficiency, evapotranspiration.

INTRODUCCIÓN

La horticultura tiene un impacto global creciente debido al aumento del consumo y la expansión de las exportaciones de hortalizas (Kessel, 2008). Entre estas, el pimiento (*Capsicum annuum* L.), perteneciente a la familia Solanaceae, es una de las especies más valoradas, con un origen que se remonta a Centro y Sudamérica (Fernández, Liverotti y Sánchez, 1997). Los avances en su producción han priorizado el desarrollo de variedades con mayor tolerancia a condiciones de estrés y una mejor calidad nutricional en sus frutos. En Ecuador, el cultivo de pimiento constituye una fuente importante de ingresos agrícolas, con predominio en la región costera y algunas zonas de baja altitud en la sierra (Rodríguez-Delgado, Pérez, García y Sánchez, 2021).

Actualmente, el país destina cerca de 956 hectáreas al cultivo de pimiento, destacándose Guayas, Esmeraldas y Manabí como las provincias con mayores niveles de producción (Holguín-Burgos, Alvarado, Delgado y Munzón, 2022). Desde 1996, Ecuador ha incursionado en la exportación de pimientos, siendo Holanda y España mercados relevantes. Para incrementar su productividad, se han comenzado a implementar microorganismos en el manejo agronómico de este cultivo (Pico, Ardisana, Torres y Fosado, 2022).

Al respecto, el uso de biofertilizantes y agentes de control biológico han surgido como una alternativa sostenible a los agroquímicos sintéticos, especialmente para manejar enfermedades postcosecha y mejorar la salud del suelo (Espinoza-Ahumada et al., 2019). En este contexto, los microorganismos de montaña (MM) favorecen la descomposición de materia orgánica y optimizan la absorción de nutrientes por las plantas (Ríos-Velasco et al., 2016).

Según Rosabal-Ayan et al., (2023) los consorcios microbianos destacan como biofertilizantes eficaces para incrementar la productividad agrícola y la calidad del suelo. Su diversidad taxonómica y funcional facilita la disponibilidad de nutrientes y fortalece la resiliencia del sistema agrícola (Castro-Barquero, Murillo, Lorío y Mata, 2015), mejorando las características morfológicas y fisiológicas de los cultivos (Shaheen et al., 2017; Ayvar-Serna et al., 2020; Martínez-Aguilar et al., 2020). Al adaptarse a las condiciones edáficas, optimizan el uso del agua y los nutrientes, lo que se traduce en mayor rendimiento y menor costo en insumos agrícolas.

Por otro lado, el uso ineficiente de los recursos hídricos ha generado impactos negativos como: escasez de agua, degradación del suelo, aumento de costos y daño ambiental, lo que ha llevado a priorizar estrategias para maximizar su aprovechamiento en la agricultura (Medrano-Gil et al., 2007). El riego deficitario ha emergido como una técnica clave para optimizar el uso del agua, abordando la creciente escasez, mejorando la eficiencia de los recursos y enfrentando los desafíos del cambio climático (Munzón, Holguín y Chávez, 2022). Este método no solo promueve la sostenibilidad y la calidad del cultivo, sino que, al inducir un estrés hídrico controlado, favorece el desarrollo de sistemas radiculares más profundos, aumentando la resistencia de las plantas a la sequía (Méndez-Vázquez et al., 2021).

En ese sentido, esta investigación tuvo como objetivo caracterizar molecularmente el biol producido a partir de microorganismos nativos de montaña y evaluar su interacción con el riego deficitario aplicado mediante goteo en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.), con el propósito de ofrecer a los productores alternativas más sostenibles para la gestión agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de Estudio

Este estudio se desarrolló en el Campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, situado en el kilómetro 7.5 de la vía Quevedo - El Empalme, en el recinto San Felipe, cantón Mocache, provincia de Los Ríos. Las coordenadas geográficas del sitio son 1° 04' 56" S y 79° 30' 08" O, con una altitud de 64 metros. El período experimental tuvo una duración de 90 días.

Condiciones Agroclimáticas

Las características agroclimáticas del lugar se presentan en el Cuadro 1.

Colecta de Muestras de Microorganismos de Montaña

Las muestras de microorganismos de montaña fueron recolectadas en el Bosque Protector Pedro Franco Dávila, ubicado en el recinto Jauneche, kilómetro 26 de la vía Palenque - Mocache, en la provincia de Los Ríos. Durante una expedición en la zona del bosque, se recogió hojarasca, enfocándose principalmente en aquella que presentaba hifas de hongos, ya que estas son un indicativo de una mayor concentración de microorganismos. Las muestras fueron luego colocadas en bolsas plásticas negras, etiquetadas y trasladadas al área asignada para la producción del biofertilizante.

Es preciso destacar que, aunque el material recolectado presentaba signos de colonización fúngica, este estudio se enfocó exclusivamente en el aislamiento y caracterización de bacterias, debido a su conocido potencial para promover el crecimiento vegetal y mejorar la eficiencia en el uso del agua.

Elaboración del Biol

Se elaboró un biol a base de microorganismos de montaña siguiendo el método descrito por Castro-Barquero, Martínez, Castro y Blanc (2020). Para ello, se utilizó un tanque plástico de 200 litros, en el que se combinaron 50 kg de hojarasca recolectada, 25 kg de polvillo de arroz y 20 litros de melaza. Posteriormente, se añadió agua hasta llenar el tanque, y se agitó la mezcla hasta lograr que la melaza se disolviera completamente. Después de ello, el tanque fue sellado herméticamente. Tras un período de 90 días, se procedió a la recolección del biol, que es el líquido fermentado resultante de la actividad microbiana en el proceso, y se filtró utilizando una tela fina y se almacenó en barriles plásticos negros, resguardados en un lugar sombreado.

Los cultivos bacterianos líquidos se obtuvieron siguiendo un proceso de dilución seriada. Se añadió 900 μL de agua destilada estéril a cada uno de los tubos Eppendorf de 1.5 mL utilizando una micropipeta. Se agregó 100 μL de biol a cada tubo. Se codificaron los tubos para realizar las diluciones, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , y 10^{-6} . Se agitaron los tubos en vórtex para asegurar la separación de colonias y garantizar la precisión del proceso de dilución seriada (Strahsburger, Retamales, Estrada y Seeger, 2016).

Los microorganismos fueron sembrados en medio de cultivo Agar Nutriente (AN), se procedió a la inoculación directa de las diluciones en placas Petri, aplicando la técnica de recuento en placa, incubándolos por 24 horas a 37 °C para obtener colonias diferenciadas. Se contaron las placas que permitieron identificar entre 30 y 300 colonias. Una vez alcanzado el crecimiento bacteriano deseado, se observó la morfología colonial de los microorganismos presentes. Se seleccionó una colonia representativa de cada tipo identificado y se cultivó para su purificación en medio de cultivo Agar Nutriente. Después de obtener los cultivos puros, se procedió a detallar y describir cuidadosamente la morfología colonial de cada microorganismo, con el fin de identificarlos y caracterizarlos adecuadamente (López, Ramírez, Arita, Zepeda y Chacón, 2023).

Cuadro 1. Condiciones agroclimáticas del sitio experimental.
Table 1. Agroclimatic conditions of the experimental site.

Condiciones	Promedio
Altitud	64 m
Temperatura	24.87 °C
Precipitación	2223.85 mm/año
Humedad relativa	85.48%
Heliofanía	898.66 horas/año
Topografía	Iregular

Fuente: (INAMHI, 2023).
Source: (INAMHI, 2023).

Cabe destacar que, los microorganismos fueron aislados directamente del lixiviado derivado de la fermentación de materia orgánica con microorganismos nativos de montaña. Este lixiviado contiene una comunidad microbiana diversa y funcional, producto de la acción de microorganismos descomponedores y simbióticos del suelo. Su uso como fuente microbiana responde a su alta biodiversidad y a la presencia de poblaciones adaptadas a condiciones edáficas locales (Rojas-Pérez, Palma, Salgado, Olan y Arreola, 2020).

La decisión de enfocar el estudio exclusivamente en bacterias se fundamentó en criterios ecológicos, funcionales y metodológicos. Las bacterias, particularmente las especies de los géneros *Enterobacter* y *Serratia*, demostraron ser predominantes en las muestras de lixiviado, lo cual fue corroborado mediante análisis morfológicos y secuenciación del gen 16S rRNA. Desde un enfoque agronómico, las bacterias presentan ventajas prácticas: son de rápido crecimiento, fáciles de multiplicar en medios simples, y tienen alta estabilidad en condiciones de campo (Grageda-Cabrera, Díaz, Peña y Vera, 2012).

Caracterización Molecular del Biol

Para la obtención de ADN genómico y total de alta calidad para identificar bacterias mediante la secuenciación del gen 16S rARN, se utilizó el kit comercial "PureLink® Genomic DNA Mini Kit" (Invitrogen, USA) de Thermo Fisher Scientific (2020).

El ADN genómico fue extraído utilizando el kit PureLink® (Bio-Rad, USA). Se preparó una solución de PureLink® al 5 % en buffer TE (10 mM Tris-HCl; 1 mM EDTA; pH 8.0) y se siguió el protocolo especificado en el manual del kit PureLink® Genomic DNA Mini Kit (Invitrogen, USA) (Thermo Fisher Scientific, 2020; Vennapusa, Somayanda, Doherty y Jagadish, 2020).

Se utilizaron muestras de cultivos bacterianos líquidos para la identificación molecular mediante la técnica de barcoding 16S para bacterias (Wilson, Blitchington y Greene, 1990). El procedimiento consistió en los siguientes pasos:

El ADN se diluyó hasta alcanzar una concentración de aproximadamente 20 ng μL^{-1} para su amplificación mediante PCR, usando los primers 16S: 27F/1492R (Palomino-Camargo y González, 2014) y las siguientes secuencias:

->MT020371.1 *Enterobacter asburiae* strain KACC 81075BP 16S ribosomal RNA gene, partial sequence.

->LT745987.1 *Enterobacter hormaechei* partial 16S rRNA gene, strain YNS, isolate.

->HG423362.1 *Serratia marcescens* partial 16S rRNA gene, strain 2A2.

Los productos de PCR fueron purificados antes de proceder con la secuenciación, utilizando el método de Sanger. Se obtuvieron amplicones de ADN de aproximadamente 1500 pb correspondientes al marcador 16S.

Las secuencias obtenidas fueron limpiadas y ensambladas con el apoyo del software Molecular Evolutionary Genetics Analysis Versión MEGA11 (Tamura, Stecher, Peterson, Filipski y Kumar, 2013). El limpiado de secuencias consistió en la eliminación de regiones de baja calidad y artefactos de secuenciación para optimizar su análisis.

Las secuencias ensambladas se compararon con la base de datos de nucleótidos de GenBank del NCBI para su identificación taxonómica (Valenzuela-González, Casillas, Villalpando y Vargas, 2015).

Para el análisis filogenético, las secuencias del gen 16S ADNr se alinearon con el programa Clustal W y el árbol se construyó con el método de máxima verosimilitud basado en el modelo Kimura-2-parámetros integrado en el software MEGA (Tamura *et al.*, 2013). El árbol filogenético se probó con 1000 réplicas bootstrap.

Estrategia Experimental para la Aplicación del Biol en Cultivo

Tras el periodo de adaptación de las plantas de pimiento, se procedió a la aplicación de biol, entendiendo este como el lixiviado obtenido posterior a la fermentación de material orgánico, rico en microorganismos benéficos y nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Se utilizó un biol diluido en agua, aplicado mediante un sistema Venturi integrado al riego por goteo. Este dispositivo, diseñado con una sección central de 12 mm que se reduce a 10 mm para facilitar la succión del biol, permite un flujo más rápido del biofertilizante debido a la disminución de presión. La dosis utilizada fue de 2 litros por circulación a través del sistema de riego, lo que asegura una distribución uniforme del biol diluido en el suelo (Márquez-Espinoza, 2019¹). Se llevaron a cabo seis aplicaciones en total, cada ocho días. La primera aplicación se efectuó en la etapa de trasplante, mientras que las cinco restantes se realizaron durante la fase de desarrollo vegetativo.

¹ Márquez-Espinoza, R. V. (2019). *Rendimiento de perejil (Petroselinum crispum Mill) con tres niveles de biol y dos sistemas de siembra en riego por goteo en la irrigación majes*. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8582>

Preparación del Suelo

Una semana antes de la siembra, se preparó el suelo a una profundidad aproximada de 30 cm. Primero se realizó la labranza primaria, que consistió en la limpieza general del área. Luego se procedió con el roturado del terreno y nivelado del suelo (Llor-Saltos y Solórzano-Giler, 2022).

Semilleros. Para la siembra en bandejas, se utilizó una mezcla de 50% de sustrato, arena y aserrín, y 50% de tierra de montaña. Se seleccionaron las semillas más homogéneas y se sembraron en las bandejas. Durante esta fase, se realizó un riego de germinación y se cubrió el semillero con papel periódico húmedo para reducir la pérdida de humedad por evaporación y aumentar la temperatura, lo que aceleró la germinación. Durante el crecimiento de las plántulas, se aplicó riego cada tres días hasta el trasplante, manteniendo la humedad en el sustrato mediante riegos regulares (Mendoza, 2021²).

Trasplante o siembra de pimiento. El trasplante al sitio definitivo se realizó 30 días después de la siembra en las bandejas germinadoras. Este proceso se efectuó manualmente, colocando las plántulas en hoyos de entre 2 y 2.5 cm de profundidad. La disposición de las plantas siguió una densidad de siembra de 40 cm entre plantas y 50 cm entre surcos, según las recomendaciones de Toñáñez et al. (2021).

Labores culturales. Previo a la siembra, se acondicionó el área experimental mediante una limpieza exhaustiva para garantizar un entorno adecuado para el desarrollo del cultivo de pimiento. Una semana antes del trasplante, se utilizó un tractor para realizar una labranza del suelo a una profundidad aproximada de 30 cm. Esta labor permitió eliminar vegetación indeseada y nivelar el terreno, optimizando así la distribución uniforme de agua y nutrientes durante el ciclo del cultivo (Monge-Pérez, Elizondo y Loría, 2022).

Consideraciones para el Desarrollo del Experimento

Instalación del sistema de riego por goteo. Para garantizar un uso eficiente del agua, se instaló un sistema de riego por goteo en la parcela experimental. Este sistema consistió en 48 laterales con un diseño de 12 × 3 metros y una separación de 3 metros entre tratamientos. Las líneas de riego estuvieron compuestas por mangueras de 16 mm de diámetro, equipadas con goteros autocompensados Supertif, colocados a intervalos de 0.4 m entre emisores, con un caudal de 2.2 L h⁻¹. Los accesorios y la tubería utilizada, elaborados en policloruro de vinilo (PVC), aseguraron la resistencia y durabilidad del sistema bajo condiciones ambientales adversas (Monge-Pérez et al., 2022).

Sistema Venturi. Se integró un sistema Venturi para la inyección de soluciones nutritivas y el control del riego. Este sistema fue diseñado considerando datos técnicos como geometrías, diámetros, caudales y presiones. Además, se desarrollaron modelos predictivos para estimar tanto las pérdidas de carga como los caudales inyectados. Los materiales empleados, incluidos las tuberías y accesorios, también fueron de PVC, lo que garantizó su resistencia y funcionalidad (Manzano, 2008³).

Riego. Después del trasplante, se estableció un programa de riego diario durante las primeras dos semanas, con aplicaciones realizadas preferentemente en las primeras horas de la mañana. Este enfoque buscó facilitar la adaptación de las plantas al nuevo entorno. Posteriormente, la frecuencia y volumen de agua aplicada se ajustaron dinámicamente en función de los valores de evapotranspiración obtenidos a través de la Estación Meteorológica de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicada en el campus "La María" (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de la programación de riego por goteo aplicado en la investigación.
Table 2. Description of the drip irrigation schedule applied in the research.

Tratamientos	Tiempo de riego	Lamina total aplicada
	min	mm
T1: Sin biol + 100 % ETc	207.24	995.53
T2: Sin biol + 75 % ETc	160.2	767.05
T3: Sin biol + 50 % ETc	114.3	543.45
T4: Con biol + 100 % ETc	207.24	995.53
T5: Con biol + 75 % ETc	160.2	767.05
T6: Con biol + 50 % ETc	114.3	543.45

² Mendoza, C. (2021). *Respuesta agronómica del pimiento (Capsicum annum) a la siembra social del cultivo de acelga (Beta vulgaris) en el cantón Milagro, recinto la Esperanza*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Universidad Agraria Del Ecuador. Centro de Información Agraria. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MENDOZA%20VERA%20CINDY%20VALERIA.pdf>

³ Manzano, J. (2008). *Análisis del inyector Venturi y mejora de su instalación en los sistemas de riego localizado*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/3901#>

Control de malezas. Se realizó manualmente y de manera constante alrededor de las parcelas experimentales. Con una frecuencia semanal, se retiraron las malezas para evitar su proliferación durante las diferentes etapas del cultivo, manteniendo un entorno favorable para el desarrollo de las plantas. Este control continuo permitió reducir la competencia de recursos entre las malezas y el cultivo, mejorando así las condiciones para un crecimiento óptimo del pimiento (Gómez y Morales, 2020⁴).

Control de plagas. El monitoreo de plagas se realizó semanalmente a lo largo del ciclo del cultivo. Ante la presencia de pulgones, se implementaron trampas biológicas y se aplicaron infusiones naturales a base de ajo, ají y neem, reconocidas por sus propiedades insecticidas contra plagas chupadoras como los pulgones. Estas aplicaciones se realizaron con una mochila aspersora, cubriendo el área de cultivo para garantizar un control eficaz y evitar el uso de productos químicos (Erthal, 2011).

Cosecha. La recolección del pimiento se efectuó al concluir el ciclo agrícola, observándose como indicadores el amarillamiento de las hojas basales y el diámetro adecuado de los frutos.

Datos climáticos. La información climática se obtuvo de la Estación Meteorológica "La María", ubicada a 300 metros del área experimental. Los registros incluyeron datos detallados de temperatura máxima, mínima y promedio (°C), humedad relativa máxima, mínima y promedio (%), velocidad del viento (m s⁻¹), presión de vapor de agua (kPa), evaporación del tanque clase A (mm/día), precipitación diaria (mm) y horas de luz solar por día.

Evapotranspiración potencial (ET_o). A partir de los datos climáticos proporcionados por la estación meteorológica, se determinó la Evapotranspiración Potencial del Cultivo (ET_o), ajustada a las condiciones específicas del experimento. Para ello, se empleó la ecuación de Penman-Monteith, que integra información sobre radiación solar diaria, temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa máxima y mínima, y velocidad del viento, siguiendo la metodología descrita por Echeverría y Mercado (2021). Los cálculos se realizaron utilizando el software ET_o Calculator versión 3.2, desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Dónde: ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹), Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹), R_n: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹), G: Flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹), γ: Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹), T: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C), u₂: Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹), e_s: Presión de vapor de saturación (kPa), e_a: Presión real de vapor (kPa). (Guevara, 2006).

Coeficiente del Cultivo

Se emplearon los valores proporcionados por la FAO (2006), en este caso para el cultivo de pimiento el coeficiente inicial fue de 0.6, el coeficiente medio de 1.052 y el coeficiente final de 0.90.

Evapotranspiración del Cultivo (ET_c)

La evapotranspiración real (ET_c) se obtuvo a partir de la evapotranspiración potencial (ET_o) calculada previamente, aplicando la metodología correspondiente. Para determinar este valor, se multiplicó la ET_o por el coeficiente de cultivo (K_c) específico del cultivo estudiado, conforme a las directrices establecidas por la FAO.

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (2)$$

Dónde: ET_c: evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹), ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹), K_c: Coeficiente de cultivo (Rodríguez, 2002).

⁴ Gómez, A., & Morales, K. (2020). *Manejo Integrado de Cultivos (MIC) de tomate, bajo dos sistemas de producción agrícola (agroecológico y con productos químicos)*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria. Medellín, Colombia. Disponible en: <https://dspace.tdea.edu.co/server/api/core/bitstreams/8c8faf99-ba88-42e9-ac48-2a178a42aee6/content>

Evaluación de Variables

Parámetros Agronómicos y Productivos del Cultivo de Pimiento

Altura de las plantas (cm). La altura de las plantas se midió semanalmente utilizando una regla metálica, desde la base o nudo principal hasta el extremo de la hoja más alta. Se tomaron muestras representativas de cada unidad experimental y se promediaron los datos para obtener un valor único por tratamiento, destinado al análisis estadístico (Alemán, Domínguez, Yoel, Soria y Torres, 2018).

Diámetro del tallo (cm). El diámetro del tallo se registró en cinco plantas por tratamiento durante la fase de fructificación, midiendo la zona media del tallo con un calibrador graduado en centímetros.

Longitud de fruto (cm) a la cosecha. La longitud de los frutos se midió en la cosecha utilizando una regla, desde la base del pedúnculo hasta el extremo del fruto, siguiendo un procedimiento estandarizado.

Diámetro del fruto (cm) a la cosecha. Para determinar el diámetro, se seleccionó un fruto por planta en cada parcela experimental, midiendo la sección media del mismo con un calibrador de precisión.

Peso del fruto (g). En cada cosecha, se eligieron al azar cinco frutos por tratamiento, los cuales fueron pesados individualmente en una balanza electrónica (Sf-400) y los valores se expresaron en gramos.

Peso comercial (kg ha⁻¹). El peso comercial se calculó evaluando el peso total de los frutos en cada muestra, tras retirar hojas y parte de las raíces. Los valores fueron ajustados a un área específica y expresados en kilogramos por hectárea.

Rendimiento (Mg ha⁻¹). El rendimiento se estimó considerando la producción total por unidad experimental en un área de 0.25 m², excluyendo bordes y extremos para evitar efectos de bordura. Los resultados se presentaron en toneladas por hectárea.

Eficiencia en el Uso del Agua (EUA). Para evaluar cómo el biofertilizante influye en la eficiencia del uso del agua en diferentes configuraciones de riego por goteo en el cultivo de pimiento, se diseñaron parcelas experimentales específicas. Estas parcelas incluyeron tratamientos con riego por goteo, algunos en combinación con biofertilizante y otros sin su aplicación. La eficiencia del uso del agua se determinó calculando el coeficiente correspondiente, comparando la biomasa producida en cada tratamiento con el volumen de agua utilizado. Este enfoque permitió analizar y contrastar la efectividad de los sistemas de riego con y sin biofertilizante (Duarte-Canales y Benavides-González, 2020).

$$EUA = \frac{\text{Rendimientos del cultivo } (\frac{kg}{ha})}{\text{agua aplicada } (\frac{mm}{ha})} \quad (3)$$

Análisis Estadístico

La caracterización molecular del biol a base de microorganismos nativos de montaña se realizó en el laboratorio de Biología y Microbiología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, sin aplicar un diseño experimental en esta fase. Para la evaluación de las variables correspondientes a parámetros agronómicos y productivos del cultivo de pimiento, se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA), con un arreglo factorial dividido en dos bloques principales: uno que recibió Biol y otro que no. Cada bloque incluyó todas las combinaciones de las tres láminas de riego, repitiéndose cuatro veces por combinación dentro de cada bloque. Para la ejecución del experimento, se delimitó el área experimental según las características indicadas en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Característica de los bloques de la investigación.
Table 3. Characteristics of the research blocks.

Características	Cantidad
Unidades experimentales	20
Número de tratamientos	6
Número de repeticiones	4
Número de parcelas	24
Total, de plantas en el experimento	500
Tamaño de parcelas	6 m ²
Distancia entre plantas	0.4 m
Distancia entre hileras	0.5 m
Área total del ensayo	144 m ²

Para el análisis estadístico, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) a las variables de respuesta con el fin de determinar su significancia estadística. Para la comparación de medias entre los diferentes tratamientos, se empleó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Se evaluaron seis tratamientos, distribuidos en dos factores. El primer factor, con biol, incluyó tres tratamientos: dos de ellos (b2 y b3) correspondieron a láminas de riego deficitario controlado, y el tercero (b1) fue el tratamiento testigo, con riego al 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc). El segundo factor, sin biol, también incluyó tres tratamientos, de los cuales dos (b2 y b3) correspondieron a riego deficitario controlado, y el tercero (b1) fue el testigo, con riego al 100% de la ETc. Los detalles de los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Molecular del Biol Elaborado con Microorganismos Nativos de Montaña

Secuenciación molecular del gen ARNr 16S. Se identificaron con precisión las cepas evaluadas. La cepa R1 presentó una identidad del 100% con *Enterobacter asburiae*, mientras que la cepa B2 mostró una similitud del 100% con *Enterobacter hormaechei*. En el caso de la cepa S5, se determinó una correspondencia del 90% con *Serratia marcescens*. Además, cada cepa fue vinculada a su código de acceso respectivo, obtenido a través del análisis BLAST en la base de datos NCBI (Cuadro 5).

Amplificación y secuenciación del gen ARNr 16S. Se logró obtener un fragmento de 1500 pb en todas las cepas analizadas, excepto en el control, donde no se detectaron fragmentos amplificados.

Análisis filogenético al gen ARNr 16S. El análisis filogenético (Figura 1), realizado a partir de la secuenciación del gen ARNr 16S de las tres cepas bacterianas y su comparación con secuencias de la base de datos NCBI, identificó tres grupos distintos. El grupo A incluye organismos del género *Enterobacter*, estrechamente relacionado con la especie *hormaechei*, agrupando a las cepas (22M, KS3, B2, Bac5). El grupo B está asociado con la especie *asburiae* (R1, SS-95, SS72, CEES 15, GM3-3, 6A). Finalmente, el grupo C está formado por organismos del género *Serratia*, vinculados con la especie *marcescens* (S5, P8, LK-10, ZJ-S0801, ZJ-S0801).

Estos resultados son consistentes con investigaciones previas que han destacado la diversidad de microorganismos en biol (Pérez-Castañeda, Castañón, Ramírez y Mayek, 2015). Sin embargo, la interacción de estas bacterias con el riego deficitario no ha sido reportada, lo que resalta la novedad de este estudio. Estas bacterias tienen una relación filogenética cercana con el control de enfermedades y la bioestimulación.

Estudios previos, como el de Palomino, Ramírez, Gonzales, Campos y Mego (2015), también han identificado bacterias en la rizosfera de malezas asociadas al maíz, como *Lactobacillus*, *Weissella*, *Herbaspirillum*, *Serratia*, entre otros, con potencial para mejorar el desarrollo vegetativo de los cultivos. En nuestro estudio, las bacterias aisladas demostraron un efecto positivo en las variables morfológicas del pimiento, especialmente en presencia de diferentes niveles de riego. Camacho-Rodríguez *et al.* (2022) señalaron que *S. marcescens* mejora la altura, número de hojas, área foliar y biomasa, mientras que otros estudios resaltaron la capacidad de *S. plymuthica* y *S. liquefaciens* para incrementar la clorofila y el tamaño de frutos, respectivamente.

Las bacterias *Enterobacter asburiae* y *Enterobacter hormaechei* identificadas en el biol presentan un 100% de identidad con los microorganismos nativos de montaña. Ambas especies son conocidas por sus propiedades beneficiosas para las plantas, como la fijación de nitrógeno (*E. asburiae*) (Singh *et al.*, 2021) y la solubilización de fosfatos (*E. hormaechei*) (Agboola, Ogunnusi, Dayo y Akpor, 2023), lo que puede mejorar la nutrición vegetal y promover un crecimiento más saludable. Además, su capacidad para producir fitohormonas y compuestos antimicrobianos podría explicar los aumentos en la altura de las plantas, el peso comercial y el rendimiento del pimiento, así como la mejora en la eficiencia del uso del agua bajo riego deficitario.

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos estudiados.
Table 4. Description of the treatments studied.

Nº	Código	Descripción
T1	a1b1	Sin biol + 100%
T2	a1b2	Sin biol + 75%
T3	a1b3	Sin biol + 50%
T4	a2b1	Con biol + 100%
T5	a2b2	Con biol + 75%
T6	a2b3	Con biol + 50%

Cuadro 5. Caracterización bacteriana al compararse por GenBank de NCBI.
Table 5. Bacterial characterization compared by GenBank of NCBI.

Cepa	Identidad a la Base de datos de NCBI de GenBank			
	Organismo	Cepa	Identidad %	Número de accesoión
R1	<i>Enterobacter asburiae</i>	KACC 81075BP	100	MT020371.1
B2	<i>Enterobacter hormaechei</i>	YNS 8	100	LT745987.1
S5	<i>Serratia marcescens</i>	2A2	90	HG423362.1

Parámetros Agronómicos y Productivos del Cultivo de Pimiento

Altura de planta por semana y por tratamiento. Las plantas de pimiento mostraron una respuesta a los diferentes tratamientos de biol combinados con riego deficitario por goteo. Se observó un patrón general de crecimiento en altura en todos los tratamientos, relacionado con la edad del cultivo. En particular, el tratamiento T4, que aplicó biol junto con una lámina de agua equivalente al 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), resultó en las plantas más altas durante las mediciones realizadas entre la semana 37 y la 44. Este tratamiento experimentó un aumento de altura de 5.13 cm en la evaluación inicial a 64.8 cm en la final. En cambio, el tratamiento T3, sin biol y con solo el 50% de la ETc, mostró el menor crecimiento en altura, con un aumento de 4.85 cm a 47.9 cm (Figura 2).

Altura de las plantas (cm). En relación con la altura de las plantas de pimiento, los tratamientos se agruparon en tres categorías. El tratamiento T4 (con biol + 100 % de ETc) alcanzó la mayor altura promedio, con 64.8 cm, mientras que el T6 (sin biol + 50 % de ETc) quedó en la categoría más baja, con un promedio de 47.9 cm. Según la prueba estadística de Tukey, se observó una diferencia significativa entre ambos tratamientos. En contraste, los tratamientos con biol y láminas de riego del 75% y 50% de ETc, con promedios de 60.8 cm y 59.0 cm, no mostraron diferencias significativas entre sí, presentando un coeficiente de variación (C.V.) de 2.17 (Figura 3).

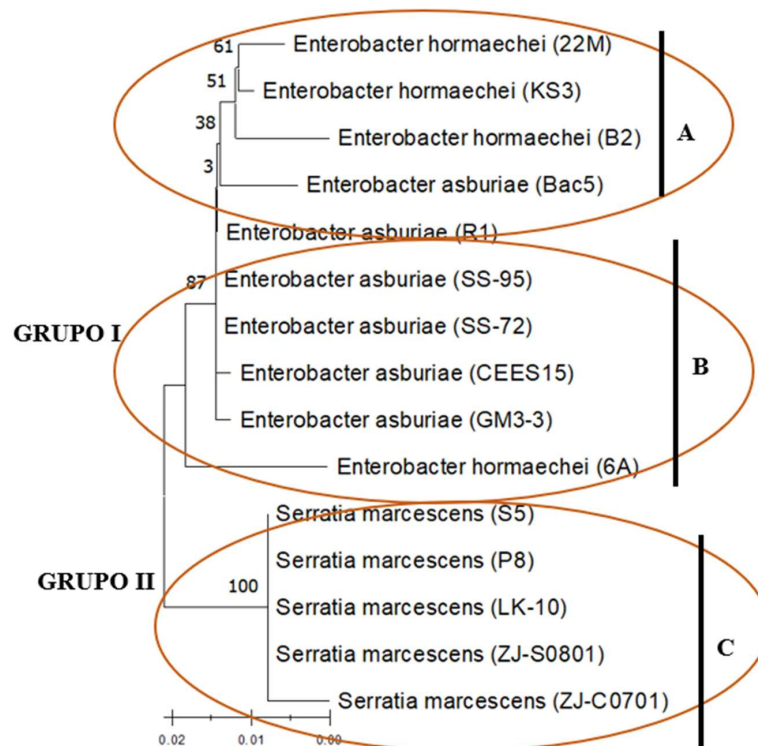


Figura 1. Relación filogenética de los aislados bacterianos basada en la secuencia del gen ARNr 16S.

Figure 1. Phylogenetic relationship of bacterial isolates based on the 16S rRNA gene sequence.

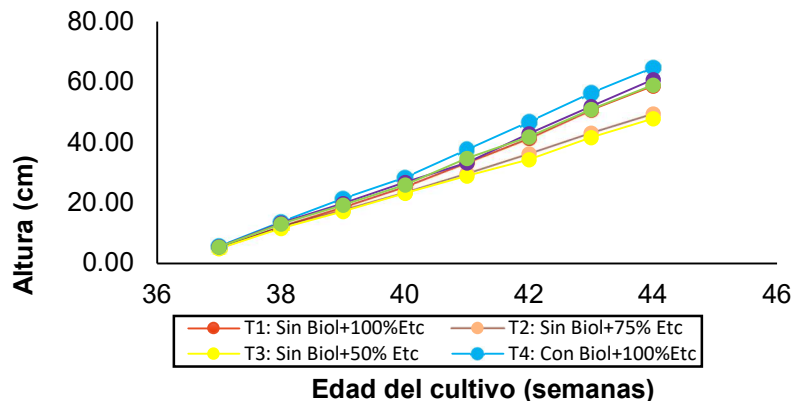


Figura 2. Incremento de la altura de plantas de pimiento a la aplicación del biol con distintas láminas de riego.

Figure 2. Increase in plant height in pepper with the application of biol under different irrigation levels.

Diámetro del tallo (cm). El ANOVA indicó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación (C.V.) de 5.86 (Figura 4).

Longitud de fruto (cm) a la cosecha. En cuanto a la longitud del fruto, según el ANOVA existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Destacando los tratamientos T1 (10.75 cm), T2 (10.75 cm), T4 (11.50 cm), T5 (11.33 cm) y T6 (11.28 cm), con los mejores promedios. En contraparte, el peor registro lo obtuvo T3 con un promedio de 8.50 cm (Figura 5).

Diámetro del fruto (cm) a la cosecha. Con respecto a la variable diámetro del fruto de los tratamientos evaluados, se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Destacando los tratamientos T4, T5 y T6 con 66.3, 65.0 y 61.3 cm respectivamente. En contraparte, el tratamiento con menores registros fue T3 con un promedio de 50.7 cm (Figura 6).

Peso del fruto (g). La variable peso del fruto reveló diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Siendo T4 (Con Biol al 100%), el mejor tratamiento con un promedio de 79.25 g. De forma opuesta ocurrió con T3, que presentó el peor registro con 46.25 (Figura 7).

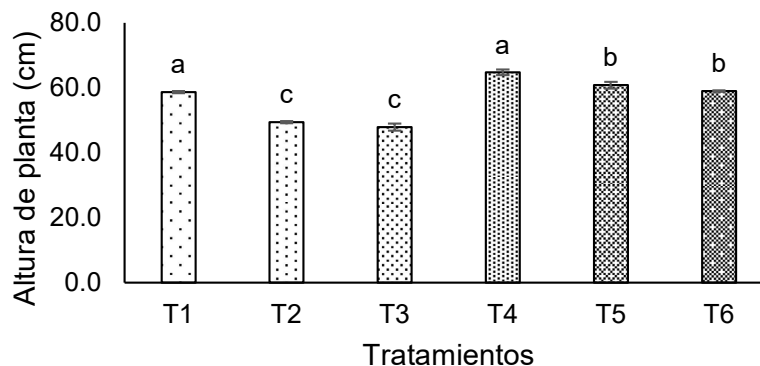


Figura 3. Altura de planta (cm) en cultivo de pimiento evaluada a los 90 días, con tratamientos. T1 sin biol + 100 % de Etc, T2 sin biol + 75 % de Etc, T3 sin biol + 50 % de Etc, T4 con biol + 100 % de Etc, T5 con biol + 75 % de Etc y T6 con biol + 50 % de Etc, la barra de error indica $\pm$ Error estándar, diferentes letras indican diferencias significativas entre medias a $p < 0.05$ (test Tukey), (C.V.) significa coeficiente de variación. DMS = 10.47615; Error = 20.7942.

Figure 3. Plant height (cm) in pepper cultivation evaluated at 90 days, with treatments. T1 without biol + 100% Etc, T2 without biol + 75% Etc, T3 without biol + 50% Etc, T4 with biol + 100% Etc, T5 with biol + 75% Etc, and T6 with biol + 50% Etc. The error bar indicates $\pm$ standard error, and different letters indicate significant differences between means at $p < 0.05$ (Tukey test). (C.V.) stands for coefficient of variation. DMS = 10.47615; Error = 20.7942.

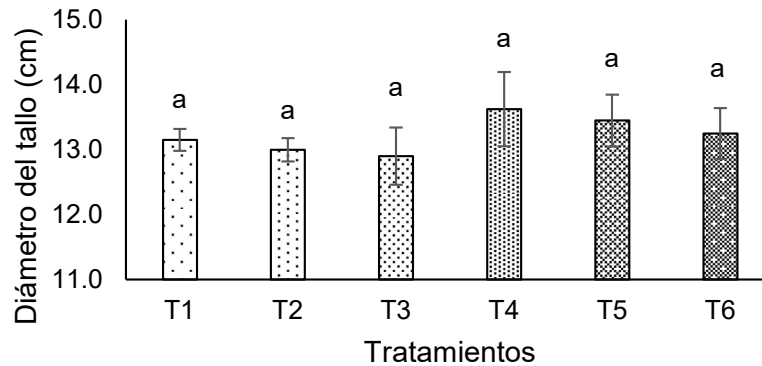


Figura 4. Diámetro del tallo (cm) del cultivo de pimiento obtenido por los tratamientos. T1 = sin biol (100 %); T2 = sin biol (75 %); T3 = sin biol (50 %); T4 = con biol (100 %); T5 = con biol (75 %); T6 = con biol (50 %) de ETc. Evaluado a la cosecha. Las barras de error indican $\pm$ Error estándar, diferentes letras indican diferencias significativas entre medias a $p < 0.05$ (test Tukey), (C.V.) significa coeficiente de variación. DMS = 1.77982; Error = 0.6002.

Figure 4. Stem diameter (cm) of the pepper crop with their respective treatments. T1 = without biol (100%); T2 = without biol (75%); T3 = without biol (50%); T4 = with biol (100%); T5 = with biol (75%); T6 = with biol (50%) ETc. Evaluated at harvest. The error bars indicate $\pm$ standard error, and different letters indicate significant differences between means at $p < 0.05$ (Tukey test). (C.V.) stands for coefficient of variation. DMS = 1.77982; Error = 0.6002.

Peso comercial (kg ha^{-1}). La variable peso comercial reveló diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Siendo T4 (Con Biol al 100%), el mejor tratamiento con un promedio de $17862.5 \text{ kg ha}^{-1}$. De forma opuesta ocurrió con T3, que presentó el peor registro con 12550 kg ha^{-1} (Figura 8).

Rendimiento (Mg ha^{-1}). De igual manera sucedió en la variable rendimiento, donde se constataron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Siendo T4, el mejor tratamiento con un promedio de 17.9 Mg ha^{-1} . De forma opuesta ocurrió con T3, que presentó el peor registro con 12.6 Mg ha^{-1} (Figura 9).

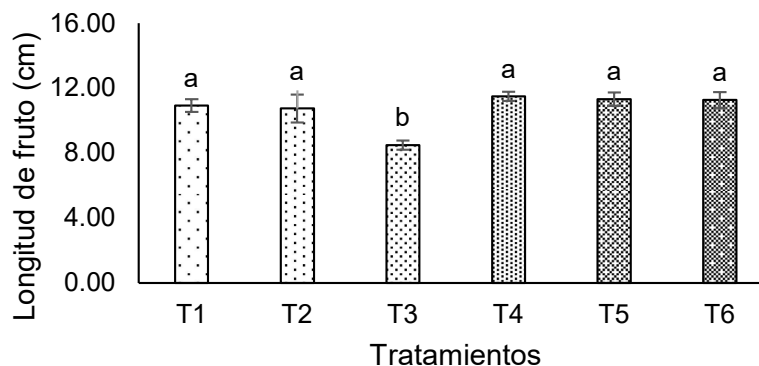


Figura 5. Longitud de fruto (cm) obtenido por los tratamientos. T1 = sin biol (100 %); T2 = sin biol (75 %); T3 = sin biol (50 %); T4 = con biol (100 %); T5 = con biol (75%); T6 = con biol (50 %) de ETc. Evaluado a la cosecha. Las barras de error indican $\pm$ Error estándar, diferentes letras indican diferencias significativas entre medias a $p < 0.05$ (test Tukey), (C.V.) significa coeficiente de variación. DMS = 1.79152; Error = 0.6081.

Figure 5. Fruit length (cm) obtained from the treatments. T1 = without biol (100%); T2 = without biol (75%); T3 = without biol (50%); T4 = with biol (100%); T5 = with biol (75%); T6 = with biol (50%) ETc. Evaluated at harvest. The error bars indicate $\pm$ standard error, and different letters indicate significant differences between means at $p < 0.05$ (Tukey test). (C.V.) stands for coefficient of variation. DMS = 1.79152; Error = 0.6081.

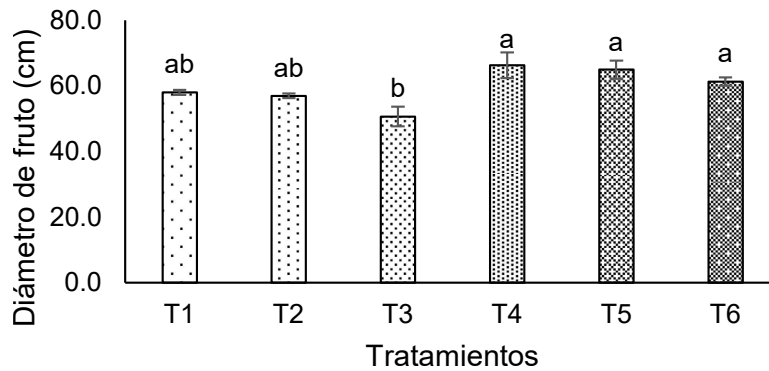


Figura 6. Diámetro del fruto (cm) obtenido por los tratamientos. T1 = sin biol (100 %); T2 = sin biol (75 %); T3 = sin biol (50 %); T4 = con biol (100 %); T5 = con biol (75 %); T6 = con biol (50 %) de ETc. Evaluado a la cosecha. Las barras de error indican $\pm$ Error estándar, diferentes letras indican diferencias significativas entre medias a $p < 0.05$ (test Tukey), (C.V.) significa coeficiente de variación. DMS = 9.91024; Error = 18.6083.

Figure 6. Fruit diameter (cm) obtained from the treatments. T1 = without biol (100%); T2 = without biol (75%); T3 = without biol (50%); T4 = with biol (100%); T5 = with biol (75%); T6 = with biol (50%) ETc. Evaluated at harvest. The error bars indicate $\pm$ standard error, and different letters indicate significant differences between means at $p < 0.05$ (Tukey test). (C.V.) stands for coefficient of variation. DMS = 9.91024; Error = 18.6083.

En cuanto a las variables agronómicas, el tratamiento T4 (100% de ETc con biol) mostró resultados estadísticamente significativos, destacándose en la altura de las plantas, el peso comercial y el rendimiento. Esto sugiere que el biol puede mejorar significativamente la eficiencia del uso del agua, especialmente en áreas con recursos hídricos limitados (González, Caballero y Aguilar, 2020). En este tratamiento, las plantas alcanzaron una altura promedio de 64.8 cm, frente a las de T3 (sin biol, 50% de ETc), que presentaron solo 47.9 cm, confirmando la hipótesis de que el biol mejora el desarrollo vegetativo del pimiento (*C. annuum*).

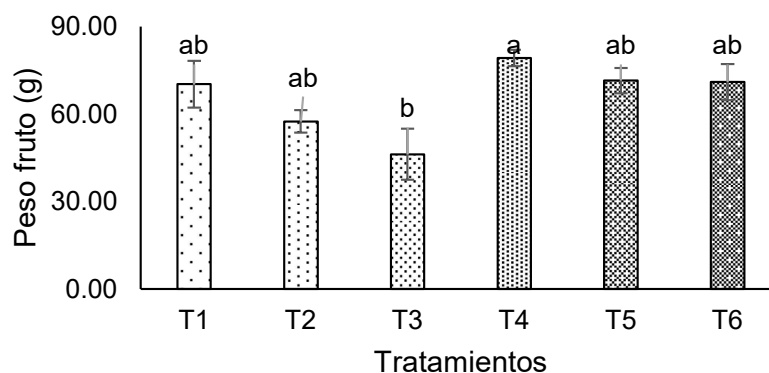


Figura 7. Peso del fruto (g). obtenido por los tratamientos. T1 = sin biol (100 %); T2= sin biol (75 %); T3= sin biol (50 %), T4= con biol (100 %); T5= con biol (75 %); T6=con biol (50%) de ETc. Evaluado a la cosecha. Las barras de error indican $\pm$ Error estándar, diferentes letras indican diferencias significativas entre medias a $p < 0.05$ (test Tukey), (C.V.) significa coeficiente de variación. DMS=25.18591 Error: 120.1861.

Figure 7. Fruit weight (g) obtained from the treatments. T1= without biol (100%); T2= without biol (75%); T3= without biol (50%); T4= with biol (100%); T5= with biol (75%); T6=with biol (50%) ETc. Evaluated at harvest. The error bars indicate $\pm$ standard error, and different letters indicate significant differences between means at $p < 0.05$ (Tukey test). (C.V.) stands for coefficient of variation. DMS = 25.18591 Error: 120.1861.

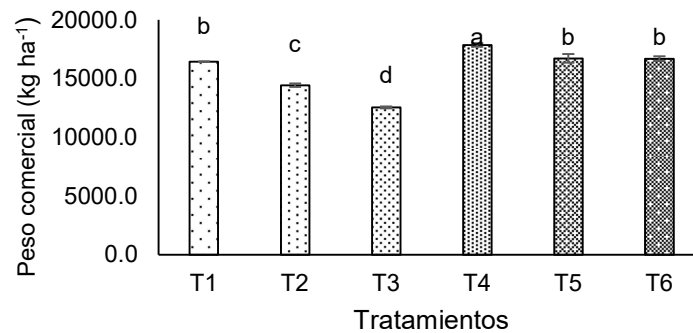


Figura 8. Peso comercial (kg ha⁻¹) del cultivo de pimiento obtenido mediante la aplicación de los tratamientos. T1 = sin biol (100 %); T2 = sin biol (75 %); T3 = sin biol (50 %); T4 = con biol (100 %); T5 = con biol (75 %); T6 = con biol (50%) de ETc. Evaluado a la cosecha. Las barras de error indican $\pm$ Error estándar, diferentes letras indican diferencias significativas entre medias a $p < 0.05$ (test Tukey), (C.V.) significa coeficiente de variación. DMS=938.89231; Error: 167020.8333.

Figure 8. Commercial weight (kg ha⁻¹) of the pepper crop obtained through the application of the treatments. T1 = without biol (100%); T2 = without biol (75%); T3 = without biol (50%); T4 = with biol (100%); T5 = with biol (75%); T6 = with biol (50%) ETc. Evaluated at harvest. The error bars indicate $\pm$ standard error, and different letters indicate significant differences between means at $p < 0.05$ (Tukey test). (C.V.) stands for coefficient of variation. DMS = 938.89231; Error = 167020.8333.

Asimismo, en términos de peso comercial, T4 con biol alcanzó un promedio de 17 863 kg ha⁻¹, mientras que T3 solo logró 12 550 kg ha⁻¹. Resultados similares fueron reportados por Pellicer *et al.* (2008), quienes encontraron que el uso de biofertilizantes mejora la producción, aunque sin diferencias significativas en la cantidad total de frutos. Además, Neri, Collazos, Huamán y Oliva (2017) señalaron que la combinación de biol con otros abonos orgánicos aumenta significativamente el rendimiento de los cultivos.

Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)

El Cuadro 6 muestra el análisis de la eficiencia en el uso del agua, destacando el tratamiento T6 (con biol + 50% de ETc), que alcanzó una eficiencia de 30.73 kg m⁻³. Este tratamiento fue seguido por T3 con una

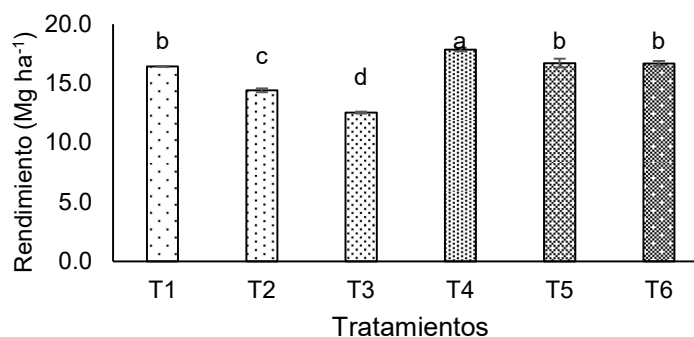


Figura 9. Rendimiento (Mg ha⁻¹) del cultivo de pimiento obtenidos mediante la aplicación de los tratamientos. T1 = sin biol (100 %); T2 = sin biol (75%); T3 = sin biol (50%); T4 = con biol (100%); T5 = con biol (75%); T6 = con biol (50%) de ETc. Evaluado a la cosecha. Las barras de error indican $\pm$ Error estándar, diferentes letras indican diferencias significativas entre medias a $p < 0.05$ (test Tukey), (C.V.) significa coeficiente de variación. DMS=0.93889 Error = 0.1670.

Figure 9. Yield (Mg ha⁻¹) of the pepper crop obtained through the application of the treatments. T1 = without biol (100%), T2 = without biol (75%), T3 = without biol (50%), T4 = with biol (100%), T5 = with biol (75%), T6 = with biol (50%) ETc. Evaluated at harvest. The error bars indicate $\pm$ standard error, and different letters indicate significant differences between means at $p < 0.05$ (Tukey test). (C.V.) stands for coefficient of variation. DMS = 0.93889; Error = 0.1670.

Cuadro 6. Uso eficiente del agua.
Table 6. Efficient Water Use.

Tratamiento	Descripción	Rendimiento	Volumen	Uso eficiente
		kg ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	kg m ⁻³
T1	Sin biol + 100%	16 437.50	995.53	16.51
T2	Sin biol + 75%	14 437.50	767.05	18.82
T3	Sin biol + 50%	12 550.00	543.45	23.09
T4	Con biol + 100%	17 862.50	995.53	17.94
T5	Con biol + 75%	16 725.00	767.05	21.80
T6	Con biol + 50%	16 700.00	543.45	30.73

eficiencia de 23.09 kg m⁻³, y T5, que registró 21.80 kg m⁻³, mostrando una mayor eficiencia en comparación con los demás tratamientos.

La mejora en la eficiencia hídrica fue evidente en el tratamiento T6 (biol con 50 % de ETc), que logró una eficiencia de 30.73 kg m⁻³, lo que indica un importante ahorro de agua. Estudios previos, como el de Rivera-Fernández, Moreira, Moreira y Cevallos (2020), destacaron que la reducción del riego al 80% mejora la eficiencia del agua, alcanzando un rendimiento de 12.5 a 12.6 kg m⁻³. Además, Rivera-Fernández *et al.* (2021) encontraron que reducir el riego al 80 % puede reducir el uso de agua sin afectar el rendimiento del cultivo. Estos resultados coinciden con los de Rodríguez-Padrón, Rázuri, Swarowsky y Rosales (2014), quienes reportaron una mayor eficiencia en el uso del agua con un riego deficitario al 60% de la ETc.

CONCLUSIONES

Las cepas bacterianas *Enterobacter* y *Serratia*, presentes en el biol derivado de los microorganismos del Bosque Protector Pedro Dávila, demostraron ser beneficiosas para el cultivo de pimienta, promoviendo un notable aumento en el crecimiento vegetativo. El biol interactuó positivamente con las láminas de riego, mostrando mejores resultados con el 50% de agua y biol, en comparación con el 100% de agua sin biol. Estos hallazgos sugieren que la combinación de biol y riego deficitario mejora variables agronómicas claves, como la altura de las plantas y el rendimiento, optimizando la eficiencia en el uso del agua. En particular, el tratamiento con biol y 50% de riego alcanzó una eficiencia de 30.73 kg m⁻³, frente a los 16.51 kg m⁻³ del tratamiento con 100% de agua sin biol, confirmando que menores cantidades de agua pueden generar una mayor eficiencia en el uso del recurso.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, recursos propios de los autores.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Investigación, metodología, redacción, borrador original, Recursos: G.Y.B.S. Supervisión, conceptualización, curación de datos, análisis formal: M.F.M.F. Software, validación: B.E.S.C. Administración del proyecto, redacción - revisión y edición: K.C.M.Y.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por el acceso a sus laboratorios, instalaciones y equipos, lo que hizo posible la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Agboola, A. A., Ogunnusi, T. A., Dayo-Olagbende, O. G., & Akpor, O. B. (2023). Optimization of phosphate solubilization activity of *Enterobacter cloacae* and *Enterobacter hormaechei* from rhizosphere. *The Open Microbiology Journal*, 17(1), e187428582308080. <http://dx.doi.org/10.2174/18742858-v17-230823-2023-8>
- Alemán, R., Domínguez, J., Yoel, R., Soria, S., & Torres, R. (2018). Indicadores morfofisiológicos y productivos del pimiento sembrado en invernadero y a campo abierto en las condiciones de la Amazonía ecuatoriana. *Centro Agrícola*, 45(1), 14-23.
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 9-16.
- Camacho-Rodríguez, M., Almaraz-Suárez, J. J., Vázquez-Vázquez, C., Angulo-Castro, A., Ríos-Vega, M. E., & González-Mancilla, A. (2022). Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento del chile jalapeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 185-196. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3273>
- Castro-Barquero, L., Martínez-Vargas, V., Castro-Zúñiga, Ó., & Blanco-Meneses, M. (2020). Abono orgánico, microorganismos de montaña (MM) y fertibiol para el control biológico de la hernia de las crucíferas (*Plasmodiophora brassicae* wor.) en el cultivo de mostaza china (*Brassica rapa* sp. pekinensis var. Taranko F1). *Agronomía Costarricense*, 44(2), 31-49. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i2.43088>
- Castro-Barquero, L., Murillo-Roos, M., Lorío, L. U., & Mata-Chinchilla, R. (2015). Inoculación al suelo con *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum oryzae*, *Bacillus subtilis* y Microorganismos de Montaña (MM) y su efecto sobre un sistema de rotación soya-tomate bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 39, 21-36.
- Duarte-Canales, H. A., & González, Á. B. (2020). Riego por goteo en cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. *La Calera*, 20(34), 35-40. <https://doi.org/10.5377/calera.v20i34.9811>
- Echeverría, R., & Mercado, T. (2021). Requerimiento hídrico del aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en los Montes de María, Sucre, norte de Colombia. *Idesia (Arica)*, 39(2), 91-100. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292021000200091>
- Erthal, M. (2011). *Controle biológico de insetos pragas*. Brasil: Editora Essentia, Instituto Federal Fluminense
- Espinoza-Ahumada, C. A., Gallegos-Morales, G., Hernández-Castillo, F. D., Ochoa-Fuentes, Y. M., Cepeda-Siller, M., & Castillo-Reyes, F. (2019). Antagonistas microbianos a *Fusarium* spp., como agente causal de pudrición de raíces y tallo en melón. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 45-55. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1843>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2006). *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Rome, Italy: FAO.
- Fernández, J., Liverotti, O., & Sánchez, G. (1997). *Manejo pos cosecha de pimiento. Control de calidad de frutas y hortalizas*. Buenos Aires, Argentina: Corporación del Mercado Central de Abastos.
- González, D., Caballero, Y., & Aguilar, O. (2020). Diseño de un cultivador hidropónico vertical para uso doméstico. *Revista de Iniciación Científica*, 6(1), 36-38. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.1.2609>
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriaes, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
- Guevara, J. (2006). La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo. *Terra*, 22(31), 31-72.
- Holguín-Burgos, B., Alvarado-Aguayo, A., Delgado-Delgado, D., & Munzón-Quintana, M. (2022). Análisis del comportamiento de tres híbridos de pimiento bajo 2 diferentes sistemas de riego. *Agronomía Costarricense*, 46(2), 147-158. <https://doi.org/10.15517/rac.v46i2.52054>
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (2023). *Condiciones meteorológicas de Mocache*. Quito, Ecuador: INAMHI.
- Kessel, A. (2008). Aplicación de técnicas biotecnológicas en frutales, una vía valiosa para el rescate y la conservación de estas especies. *Cultivos Tropicales*, 29(3), 27-37.
- Loor-Saltos, J., & Solórzano-Giler, J. (2022). Práctica pos cosecha en el cultivo de tomate en el cantón Chone. *Revista Científica Sinapsis*, 1(21), 1-8.
- López, J., Ramírez, K., Arita, E., Zepeda, E., & Chacón, F. (2023). Caracterización microbiológica de biofertilizantes inoculados con microorganismos de montaña en el departamento de Copán Honduras. *Bionatura*, 8, 1-17. <https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.04.35>
- Martínez-Aguilar, F. B., Guevara-Hernández, F., Aguilar-Jiménez, C. E., Rodríguez-Larramendi, L. A., Reyes-Sosa, M. B., & La O-Arias, M. A. (2020). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 871-881. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>
- Medrano-Gil, H., Bota-Salort, J., Cifre-Llompart, J., Flexas-Sans, J., Ribas-Carbó, M., & Gulías-León, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*, 43, 63-84. <https://doi.org/10.14198/INGEO2007.43.04>

- Méndez-Vázquez, J. R., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., Cabrera-De la Fuente, M., Robledo-Olivo, A., & González-Morales, S. (2021). Efecto del riego deficitario en la acumulación de compuestos antioxidantes en plantas de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), e2822. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2822>
- Monge-Pérez, J. E., Elizondo-Cabalceta, E., & Loria-Coto, M. (2022). Producción de pimiento (*Capsicum annuum*) en invernadero: comparación entre tipos de pimiento. *I+D Tecnológico*, 18(1), 100-107. <https://doi.org/10.33412/idt.v18.1.3488>
- Munzón, M., Holguin, B., & Chávez, G. (2022). Respuesta agronómica del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) a dos condiciones de riego. *Agroindustrial Science*, 12(1), 73-80. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.09>
- Neri, J. C., Collazos, R., Huamán, E., & Oliva, M. (2017). Aplicación de abonos orgánicos y biofertilizante en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), distrito de Chachapoyas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1(1), 38-46. <https://doi.org/10.25127/aps.20171.348>
- Palomino-Camargo, C., & González-Muñoz, Y. (2014). Técnicas moleculares para la detección e identificación de patógenos en alimentos: ventajas y limitaciones. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(3), 535-546.
- Palomino, F. N. H., Ramírez, K. M. V., Gonzales, H. L., Campos, C. E., & Mego, C. H. A. (2015). Efecto de enterobacterias en el desarrollo vegetativo de *Zea mays* en invernadero. *UCV-HACER: Revista de Investigación y Cultura*, 4(1), 10-19.
- Pellicer, C., Pérez, A., Abadía, A., Rincón, L., Paredes, A., & Carrillo, F. (2008). *Resultado del aporte de biofertilizantes a un cultivo de pimiento con fertilización ecológica*. La Alberca, Murcia, España: IMIDA.
- Pérez-Castañeda, L. M., Castañón-Nájera, G., Ramírez-Meraz, M., & Mayek-Pérez, N. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(4), 117-128.
- Pico, D., Ardisana, E., Torres, C., & Fosado, O. (2022). Efecto de bioestimulantes sobre el crecimiento en cuatro híbridos de pimiento. *Ecuador es calidad - Revista Científica Ecuatoriana*, 1(9), 1-7. <https://doi.org/10.36331/revista.v9i1.139>
- Rios-Velasco, C., Caro-Cisneros, J. M., Berlanga-Reyes, D. I., Ruiz-Cisneros, M. F., Ornelas-Paz, J. J., Sala-Marina, M. Á., & Guerrero-Prieto, V. M. (2016). Identification and antagonistic activity *in vitro* of *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp. isolates against common phytopathogenic fungi. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 34(1), 84-99.
- Rivera-Fernández, R., Moreira-Saltos, J., Moreira-Muñoz, C., & Cevallos-Rivera, J. (2020). Respuesta del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) al riego deficitario en la etapa inicial y de desarrollo en un suelo franco. *Revista EspamCiencia*, 11(2), 88 - 94. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.210
- Rivera-Fernández, R. D., Heredia-Pinos, M. R., Moreira-Saltos, J. R., Apolo-Bosquez, J. A., Caicedo-Camposano, O., & Cabrera-Verdezoto, R. P. (2021). Efecto del riego deficitario aplicado en etapa inicial del cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) en un suelo franco. *Ciencia y Tecnología*, 14(1), 55-60.
- Rodríguez, A. (2002). *Cálculo de evapotranspiración de cultivo (ETc) mediante el uso de coeficientes (Kc)*. México: Secretaría de Fomento Agropecuario.
- Rodríguez-Delgado, I., Pérez-Iglesias, H. I., García-Batista, R. M., & Sánchez-Mosquera, J. V. (2021). Comportamiento morfo-agroproductivo de diferentes cultivares de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en la parroquia La Victoria, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(3), 92-103.
- Rodríguez-Padrón, R. A., Rázuri-Ramírez, L., Swarowsky, A., & Rosales-Daboín, J. (2014). Efecto del riego deficitario y diferentes frecuencias en la producción del cultivo de pimentón. *Interciencia*, 39(8), 568-573.
- Rojas-Pérez, F., Palma, D., Salgado-García, S., Olan, O., & Arreola-Enríquez, J. (2020). Elaboración y caracterización nutrimental de abonos orgánicos líquidos en condiciones tropicales. *AgroProductividad*, 13, 1-6. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1590>
- Rosabal-Ayan, L., Guevara-Hernández, F., Ruiz, V., La O, M., Raj Aryal, D., & Reyes, M. (2023). Effect of microbial consortia on maize yield in Chiapas, Mexico. *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 40(3), e234026. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v40.n3.04](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v40.n3.04)
- Shaheen, S., Khan, M., Khan, M. J., Jilani, S., Bibi, Z., Munir, M., & Kiran, M. (2017). Effective Microorganisms (EM) co-applied with organic wastes and NPK stimulate the growth, yield and quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Sarhad Journal of Agriculture*, 33(1), 30-41.
- Singh, P., Singh, R. K., Li, H. B., Guo, D. J., Sharma, A., Lakshmanan, P., ... & Li, Y. R. (2021). Diazotrophic bacteria *Pantoea dispersa* and *Enterobacter asburiae* promote sugarcane growth by inducing nitrogen uptake and defense-related gene expression. *Frontiers in Microbiology*, 11, 600417. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.600417>
- Strahsburger, E., Retamales, P., Estrada, J., & Seeger, M. (2016). Microdot method: used with chromogenic agar is a useful procedure for sanitary monitoring in aquaculture. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(4), 742-749.
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A., & Kumar, S. (2013). MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, 30, 2725-2729. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst197>
- Thermo Fisher Scientific (2020). DNA reference guide. *DNA Reference Guide*. Consultado el 20 de marzo, 2024, desde <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/BID/brochures/dna-isolation-purification-brochure.pdf>
- Toñanez, L. D., Bottino, J. A., & Galeano, X. J. (2021). Efectos de fertilización potásica en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) var: híbrido nathalie. *Revista Alfa*, 5(13), 78-90. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.99>
- Valenzuela-González, F., Casillas-Hernández, R., Villalpando, E., & Vargas-Albores, F. (2015). El Gen *rRNA* 16s en el estudio de comunidades microbianas marinas. *Ciencias Marinas*, 41(4), 297-313. <https://doi.org/10.7773/cm.v41i4.2492>
- Vennapusa, A. R., Somayanda, I. M., Doherty, C. J., & Jagadish, S. V. K. (2020). A universal method for high-quality RNA extraction from plant tissues rich in starch, proteins and fiber. *Scientific Reports*, 10(1), 16887. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73958-5>
- Wilson, K. H., Blitchington, R. B., & Greene, R. C. (1990). Amplification of bacterial 16S ribosomal DNA with polymerase chain reaction. *Journal of Clinical Microbiology*, 28(9), 1942-1946. <https://doi.org/10.1128/jcm.28.9.1942-1946.1990>